

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-138600

(43)Date of publication of application : 31.05.1996

(51)Int.Cl.

H01J 37/09

H01J 37/141

(21)Application number : 06-295912

(71)Applicant : SHIMADZU CORP

(22)Date of filing : 04.11.1994

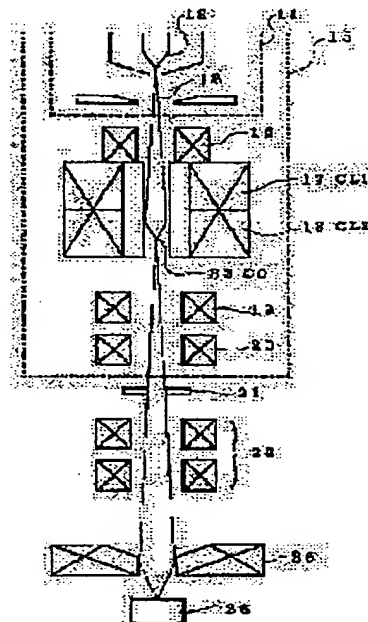
(72)Inventor : FUJITA MAKOTO

## (54) CHARGED PARTICLE OPTICAL SYSTEM

## (57)Abstract:

PURPOSE: To electrically change the angle of aperture of a beam without being accompanied with mechanical motion.

CONSTITUTION: A fixed aperture 21 is provided on and after a crossover point 32 and besides not after an objective lens 25, and a condenser lens is composed of first and second condenser lenses 17 and 18 being independent electromagnetic lenses in tow stages. And, the crossover point 32 is shifted on the optical axis of a charged particle optical system by controlling both condenser lenses independently, whereby the angle of aperture of a charged particle beam at the final image pickup point is changed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 04.02.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-138600

(43) 公開日 平成8年(1996)5月31日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	片内整理番号	P I	技術表示箇所
H 0 1 J	37/09	A		
	37/141	Z		

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-295912

(22) 出願日 平成6年(1994)11月4日

(71) 出願人 000001993

株式会社島津製作所

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

(72) 発明者 藤田 真

京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社

島津製作所三条工場内

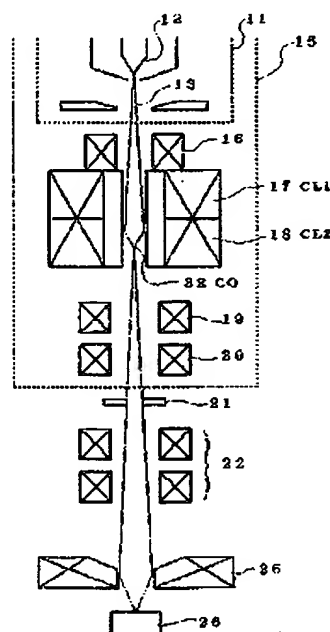
(74) 代理人 弁理士 小林 良平

(54) 【発明の名称】 荷電粒子光学系

(57) 【要約】

【目的】 機械的な動きを伴うことなく、電気的にビーム開き角を変更できるようにする。

【構成】 クロスオーバー点32以降であって対物レンズ25以前に固定のアパーチャ21を設け、コンデンサレンズを2段の独立な電磁レンズである第1及び第2コンデンサレンズ17、18により構成する。そして、両コンデンサレンズを独立に制御することによりクロスオーバー点32を荷電粒子光学系の光軸上で移動させ、最終結像点における荷電粒子ビームの開き角を変化させる。



(2)

特開平8-138600

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 荷電粒子源で生成される荷電粒子を電磁レンズであるコンデンサレンズにより収束してクロスオーバー点で一旦結像した後、更に同じく電磁レンズである対物レンズにより収束して所定位置にある最終結像点に結像する荷電粒子光学系において、

a)クロスオーバー点以降であって対物レンズ以前に固定のアパーチャを設けると共に、

b)コンデンサレンズを2段の独立な電磁レンズである第1及び第2コンデンサレンズにより構成し、

c)両コンデンサレンズを独立に制御することによりクロスオーバー点を荷電粒子光学系の光軸上で移動させ、最終結像点における荷電粒子ビームの開き角を変化させるコンデンサレンズ制御部を設けた、ことを特徴とする荷電粒子光学系。

$$d^2 = d_0^2 + d_1^2 + d_2^2 + d_3^2$$

式(1)において $d_0$ はガウス像径であり、試料電流値 $i$ 、電子ビームの強度 $B$ 、ビーム開き角 $\alpha$ と次の関係式※

$$i = B \cdot \pi \cdot (d_0/2)^2 \cdot \alpha^2 \quad (2)$$

【0003】 $d_1$ は回折による項であり、次のように表★20★わされる。

$$d_1 = 1.22 \cdot (\lambda / \alpha) \quad (3)$$

ここで $\lambda$ は電子の波長で、加速電圧 $V$ (volt単位)を用いて $\lambda = 12.4 / V^{1/2}$ (単位はオングストローム) ☆

$$d_2 = (1/2) \cdot C_s \cdot \alpha^3 \quad (4)$$

$$d_3 = C_c \cdot (\delta V / V) \cdot \alpha \quad (5)$$

ここで、 $C_s$ 及び $C_c$ はそれぞれ球面収差係数及び色収差係数と呼ばれる定数である。 $\delta V$ は電子エネルギーのばらつきで、タングステン熱電子銃の場合、約1V程度であ◆

$$d^2 = P / \alpha^4 + C \cdot \alpha^6 + Q \cdot \alpha^2 \quad (6)$$

ここで、

$$P = (4 / \pi^2) \cdot (i / B) + (1.22 \cdot \lambda)^2 \quad (7) - 1$$

$$C = (1/2)^2 \cdot C_s^2 \quad (7) - 2$$

$$Q = C_c^2 \cdot (\delta V / V)^2 \quad (7) - 3$$

である。 $B$ 、 $C_s$ 、 $C_c$ は定数であるため、 $V$ 、 $\delta V$ が一定であるとすると、試料電流値 $i$ が与えられると $P$ 、 $C$ 、 $Q$ は決定される。このとき、電子ビーム径 $d$ を最小\*

$$\alpha_{opt} = \{ (Q^2 + 12 \cdot C \cdot P)^{1/4} - Q \} / (6 \cdot C) \quad (8)$$

式(7)、(8)の両式より、最適開き角 $\alpha_{opt}$ は試料電流値 $i$ に依存しており、電流値 $i$ が大きいほど最適ビ※

$$\alpha_{opt} = k \cdot i^{1/4}$$

【0005】EPMA装置における試料電流値は、SEM(二次電子顕微鏡)モードでの $i = 10^{-11}$ Aから特性X線検出(分析)モードでの $i = 10^{-9}$ A程度まで、試料電流値をおよそ5桁の範囲にわたって変化させる必要がある。このとき、式(9)より、最適ビーム開き角 $\alpha_{opt}$ は4倍以上変化する。このため、EPMA装置において上記モードの切り換えを行なう際は、対物レンズにおけるビーム開き角 $\alpha$ を何らかの方法で変化させなければならない。

【0006】

## \*【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、定査型電子顕微鏡、電子線マイクロアナライザ(EPMA)、電子線リソグラフィ装置等の電子ビームを使用する装置やイオンビームリソグラフィ装置等のイオンを使用する装置(すなわち、荷電粒子を使用する装置)であって電場・磁場レンズを備えた装置に関する。

【0002】

10 【従来の技術】例えばEPMA装置の電子走査系で得られる電子ビームの径は、ほとんど、最終段にある対物レンズの性能によって決定される。そして、最終的に得られる電子ビームの直径 $d$ は近似的に次のように表わされる(R. F. W. Pease and W. C. Nixon; J. Sci. Instrum., 42, 81-85(1965))。

$$(1)$$

※を満たしている。

$$(2)$$

$$(3)$$

☆で与えられる。 $d_1$ 及び $d_2$ はそれぞれ対物レンズの球面収差、色収差による項で、次式により与えられる。

$$(4)$$

$$(5)$$

◆る。

【0004】以上の式を用いると、式(1)は次のように書き直される。

$$(6)$$

$$(7) - 1$$

$$(7) - 2$$

$$(7) - 3$$

\*にする最適開き角 $\alpha_{opt}$ が存在する。式(6)より、この最適開き角 $\alpha_{opt}$ は次のように与えられる。

$$(8)$$

※ーム開き角 $\alpha_{opt}$ は大きくなることわかる。 $i$ が十分大きいときは、式(8)より次の近似が成り立つ。

$$(9)$$

【発明が解決しようとする課題】対物レンズにおけるビーム開き角を変化させるため、従来は図1(a)に示すように、クロスオーバー点32の後の電子ビーム13の径の絞り盤を変化させていた。具体的には図2に示すように、径の異なる複数の開口28を有するアパーチャ板21を移動させることにより、電子ビーム13の絞り径を変化させていた。

【0007】しかし、このようにアパーチャ板21を機械的に移動させる方法では、移動後に開口28の中心を正しく電子光学系の光軸30に一致させるための調整作

50

(3)

特開平 8-138600

3

業が必要となる。これは、もしこのような調整を行わず、開口 28 の中心が電子光学系の光軸 30 の中心からズレた状態で電子ビーム 13 を照射すると、電子ビームのボケがひどくなり、像の分解能が低下するという問題が生じるためである。このように、従来の E P M A 装置では SEM 観察モードから E P M A 分析モードへの切り換えや逆方向への切り換えが面倒であり、かつ、時間がかかるという問題があった。

【0008】本発明はこのような課題を解決するために成されたものであり、機械的な動きを伴うことなく、電気的にビーム開き角を変更することのできる荷電粒子光学系を提供するものである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために成された本発明は、荷電粒子源で生成される荷電粒子を電磁レンズであるコンデンサレンズにより収束してクロスオーバー点で一旦結像した後、更に同じく電磁レンズである対物レンズにより収束して所定位置にある最終結像点に結像する荷電粒子光学系において、

a) クロスオーバー点以降であって対物レンズ以前に固定のアパーチャを設けると共に、  
b) コンデンサレンズを 2 段の独立な電磁レンズである第 1 及び第 2 コンデンサレンズにより構成し、  
c) 両コンデンサレンズを制御することによりクロスオーバー点を荷電粒子光学系の光軸上で移動させ、最終結像点における荷電粒子ビームの開き角を変化させるコンデンサレンズ制御部を設けた、ことを特徴とする。

【0010】

【作用】荷電粒子源で生成された荷電粒子のビームは、第 1 及び第 2 コンデンサレンズにより収束され、クロスオーバー点において一旦結像する。その後、荷電粒子は発散するが、アパーチャにより所定の立体角に制限された荷電粒子ビームのみが対物レンズにより再び収束され、最終結像点に結像する。ここで、コンデンサレンズ制御部は、第 1 及び第 2 コンデンサレンズを制御することにより、図 1 (b) に示すようにクロスオーバー点 32 を荷電粒子光学系の光軸（荷電粒子源と最終結像点 33 とを結ぶ直線）30 上で移動させるが、アパーチャ 21 及び最終結像点 33 は固定されているため、クロスオーバー点 32 が光軸 30 上で移動すると、（対物レンズ 25 を適切に調節することにより）荷電粒子ビーム 13 は最終結像点 33 で結像すると共に、そこにおける荷電粒子ビーム 13 の開き角  $\alpha$  が変化する。本発明に係る荷電粒子光学系では第 1 及び第 2 の 2 段の独立のコンデンサレンズを使用するため荷電粒子の収束に 2 個の自由度を持ち、後に詳述するように、このクロスオーバー点 32 の移動の際に倍率を変化させることがない。

【0011】なお、荷電粒子ビーム 13 は、クロスオーバー点 32 で結像する前に第 1 コンデンサレンズと第 2 コンデンサレンズの間で一旦結像してもよいし、両コンデ

4

ンサレンズ間では結像することなく、クロスオーバー点 32 で初めて結像するようにしてもよい。

【0012】

【実施例】本発明を E P M A 装置に適用した例を説明する。E P M A 装置の電子光学系は図 3 に示すように、電子銃 11、照射光学系 15、アパーチャ板 21、スキャナ 22、対物レンズ 25 等から構成されている。照射光学系 15 には第 1 コンデンサレンズ (CL1) 17 及び第 2 コンデンサレンズ (CL2) 18 の 2 段のコンデンサレンズが備えられている。なお、照射光学系 15 にはその他に、上下のデフレクタ 16、20 及び非点補正コイル 19 が含まれる。

【0013】電子銃 11 のフィラメント 12 で生成された電子ビーム 13 は、第 1 及び第 2 コンデンサレンズ 17、18 により収束され、一旦結像する。この結像点をクロスオーバー点 (CO) 32 と呼ぶ。その後、電子ビーム 13 は発散し、アパーチャ板 21 の開口により制限された後、対物レンズ 25 により再び収束されて試料 26 の表面に結像する。なお、上下のデフレクタ 16、20 は電子ビーム 13 の光軸 30 からのズレを矯正し、非点補正コイル 19 は非点収差を矯正する。また、スキャナ 22 は電子ビーム 13 を試料 26 の表面で走査させるためのものである。

【0014】電子源 31 とクロスオーバー点 32 との間の光学系を模式的に図 4 に示す。固定電子源 31 の結像点であるクロスオーバー点 (CO1、CO2) 32 を光軸 30 上で移動させ、しかもその倍率をそれとは無関係に任意に変化させるためには、少なくとも 2 つの自由度が必要である。そこで、本実施例の E P M A 装置では、第 1 (CL1) 及び第 2 (CL2) の 2 個のコンデンサレンズ 17、18 を直列に配置し、これらを独立に制御可能としている。なお、これらのコンデンサレンズ 17、18 は、超気レンズ又はアインツェルレンズ等の電子を加減速しないレンズを用いる。

【0015】図 4 において、第 1 コンデンサレンズ (CL1) 17 の焦点距離を  $f_1$ 、第 2 コンデンサレンズ (CL2) 18 の焦点距離を  $f_2$  とする。また、電子源 31 と第 1 コンデンサレンズ (CL1) 17 との間の距離を  $a$ 、第 1 コンデンサレンズ (CL1) 17 と第 2 コンデンサレンズ (CL2) 18 との間の距離を  $l$ 、第 2 コンデンサレンズ (CL2) 18 とクロスオーバー点 (CO1、CO2) 32 a、32 b との間の距離を  $z_1$ 、 $z_2$  とする。

【0016】いま、議論を簡単にするため、レンズは薄肉レンズであるとする。最近の E P M A 装置に用いる超気レンズでは、ポールピースの径やギャップが小さく、軸上磁場分布が狭い範囲に収まっているため、薄肉レンズは良い近似で成立する。レンズの 1 次特性のみを問題にしているため、次の遷移行列がこのレンズ系の特性（クロスオーバー点の位置  $z$ 、倍率  $M$ ）を表わすのに必要

(4)

特開平8-138600

5

5

かつ十分である(MiklosSzilagyi; Electron and Ion Op \* 8)。

tics, p.178, Plenum Press, New York and London(198\* [数1]

$$\begin{pmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & a \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 - \frac{L}{f_1} + z \cdot \left\{ \frac{L}{f_1 \cdot f_2} - \left( \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \right) \right\} & (a+L) - \frac{a \cdot L}{f_1} + z \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{a}{f_1} + \frac{a+L}{f_2} \right) + \frac{a \cdot L}{f_1 \cdot f_2} \right\} \\ \frac{L}{f_1 \cdot f_2} - \left( \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \right) & 1 - \left( \frac{a}{f_1} + \frac{a+L}{f_2} \right) + \frac{a \cdot L}{f_1 \cdot f_2} \end{pmatrix}$$

... (10)

クロスオーバー点32では逐移行列の(1, 2)成分がゼロ ※うに計算される。

口になるはずであるから、式(10)より、zは次のよ※ [数2]

$$z = \frac{\frac{a \cdot L}{f_1} - (a+L)}{1 - \left( \frac{a}{f_1} + \frac{a+L}{f_2} \right) + \frac{a \cdot L}{f_1 \cdot f_2}} \quad \dots (11)$$

また、このときのzの値を(1, 1)成分に代入するこ ★ [数3]

とにより、倍率Mが次のように得られる。 ★

$$M = \frac{1}{1 - \left( \frac{a}{f_1} + \frac{a+L}{f_2} \right) + \frac{a \cdot L}{f_1 \cdot f_2}} \quad \dots (12)$$

【0017】一例として、 $a=156$  (mm)、 $L=65$  (mm) としたとき、両コンデンサレンズ (CL1) 17、(CL2) 18の焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$  の逆数  $1/f_1$ 、 $1/f_2$  の各値に対してクロスオーバー点の位置  $z$  がどのように変化するかを図5及び図6に示す。図5においては、 $-200 \leq z \leq 100$  (mm) の範囲で5 (mm) 間隔の等高線を示している。図6は図5の  $1/f_1 < 0$ 、05の部分拡大表示したものである。図5及び図6より、 $1/f_1$  が0.025 (1/mm) の点を境に、両コンデンサレンズ (CL1) 17、(CL2) 18の動作モードが変化していることがわかる。すなわち、 $1/f_1 < 0.025$  の場合は、図4の13bで示すように第1コンデンサレンズ (CL1) 17による実像が形成されず、直接クロスオーバー点 (CO2) 32bで結像するのに対し、 $1/f_1 > 0.025$  の場合は、13aで示すように第1コンデンサレンズ (CL1) 17と第2コンデンサレンズ (CL2) 18との間に一旦実像が形成され、この実像が第2コンデンサレンズ (CL2) 18に

よりクロスオーバー点 (CO1) 32aに再結像される。

以下、両コンデンサレンズ間で結像する場合をモード

1、結像しない場合をモード2と呼ぶ。

【0018】本電子ビーム光学系の場合、図5及び図6より、モード1及びモード2の場合とも、両コンデンサレンズの焦点距離  $f_1$  及び  $f_2$  を調整することによりクロスオーバー点32を移動させることができることがわかる。

【0019】次に、式(12)により、倍率Mの焦点距離 ( $1/f_1$ 、 $1/f_2$ ) 依存性について同様に計算した結果を図7及び図8に示す。これらの図において等高線は、 $M=-0.1$ 、 $-0.05$ 、 $-0.02$ 、 $-0.01$ 、 $-0.005$ 、 $-0.002$ 、 $-0.001$ 、 $0$ 、 $0.01$ 、 $0.02$ 、 $0.05$ 、 $0.1$  の各値について描いた。これらの図より、モード1では  $M > 0$ 、モード2では  $M < 0$  となることがわかる。図5及び図6をこれらの図と重ね合わせると、クロスオーバー点の位置  $z$  を一定に保持した状態で、倍率Mをかなりの範囲で変化させるこ

49

50

(5)

特開平8-138600

7

8

とができることがわかる。すなわち本実施例のE P M A装置では、2段直列に配置したコンデンサレンズ17、18を独立に制御し、それぞれの焦点距離 $f_1$ 、 $f_2$ を適切な値に設定することにより、試料26表面における電子ビーム13の開き角 $\alpha$ が試料電流値 $i$ に応じた最適開き角 $\alpha_{opt}$ となるようにクロスオーバー点32を移動させることができると同時に、倍率 $M$ も自由に变化させることができる。

【0020】なお、ここでは電子ビームを使用するE P M A装置を例示したが、イオンを使用するビームリソグラフィ装置についても本発明は同様に適用することができる。

【0021】

【発明の効果】本発明に係る荷電粒子光学系では、荷電粒子ビームの開き角を变化させる為にビーム絞りを変更するのではなく、コンデンサレンズによりクロスオーバー点の位置を变化させる。このため、機械的に動作する部分がなく、中心軸調整等が不要となるため、開き角の変更を極めて容易に行なうことができる。これにより、例えばE P M A装置では、SEM（二次電子顕微鏡）モードと特性X線検出（分析）モードとの間のモード切り換えが容易かつ迅速となる。また、そのコンデンサレンズとして、独立に制御可能な2段のコンデンサレンズを用いているため、倍率とクロスオーバー点を独立に制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のビーム開き角調整方法（a）と本発明によるビーム開き角調整方法（b）の違いを説明する説明図。

【図2】従来のビーム開き角調整の際に用いる可変開口アパーチャ板の平面図。

\*【図3】本発明の一実施例であるE P M A装置の電子光学系の概略構成図。

【図4】実施例のE P M A装置の電子光学系のクロスオーバー点までの電子光学系の拡大図。

【図5】実施例の電子光学系で、両コンデンサレンズの焦点距離 $f_1$ 、 $f_2$ を变化させたときのクロスオーバー点の座標 $z$ の变化の様子を示すグラフ。

【図6】図5のグラフの $1/f_1 < 0.05 (1/m)$ の部分の拡大図。

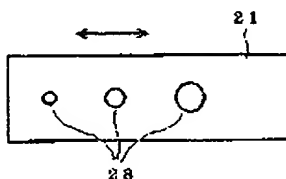
【図7】実施例の電子光学系で、両コンデンサレンズの焦点距離 $f_1$ 、 $f_2$ を变化させたときの倍率 $M$ の变化の様子を示すグラフ。

【図8】図7のグラフの $1/f_1 < 0.05 (1/m)$ の部分の拡大図。

【符号の説明】

- 11…電子銃
- 12…フィラメント
- 13…荷電粒子ビーム
- 15…照射光学系
- 16、20…デフレクタ
- 17…第1コンデンサレンズ（CL1）
- 18…第2コンデンサレンズ（CL2）
- 19…非点修正コイル
- 21…アパーチャ板
- 22…スキャナ
- 25…対物レンズ
- 26…試料
- 31…光軸
- 31…荷電粒子源（電子源）
- 32…クロスオーバー点
- 33…最終結像点

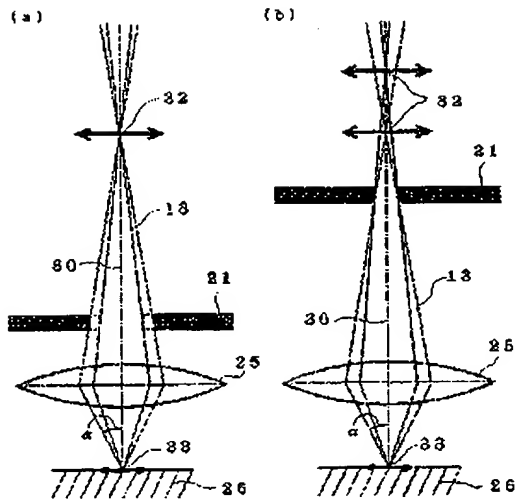
【図2】



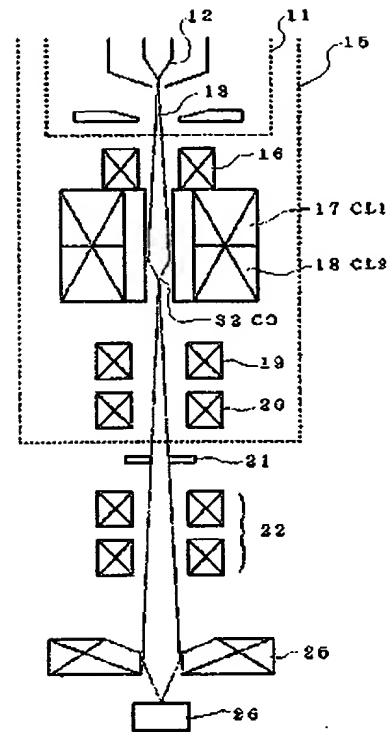
(6)

特開平8-138600

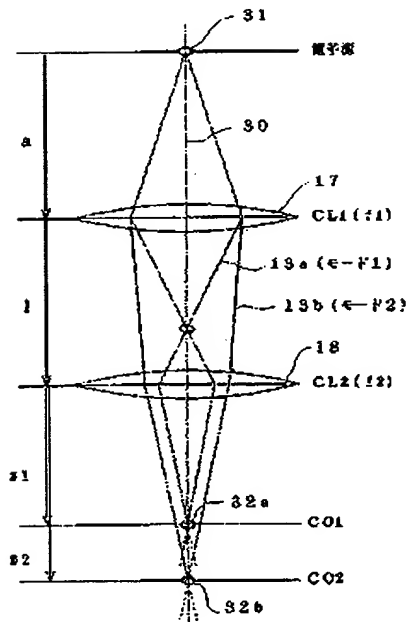
【図1】



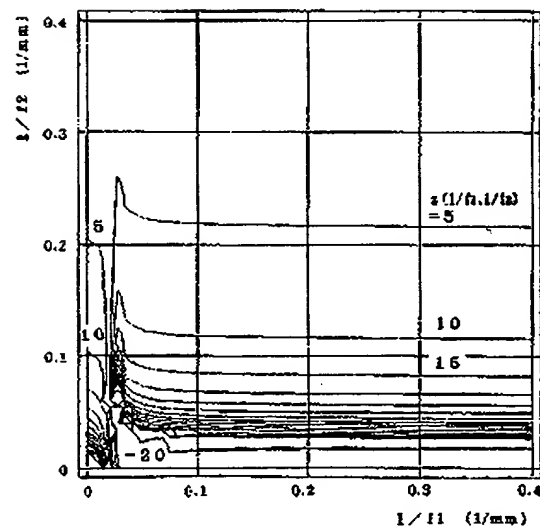
【図3】



【図4】



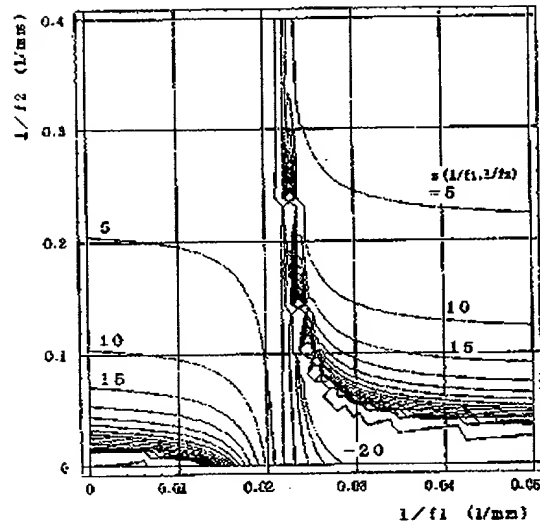
【図5】



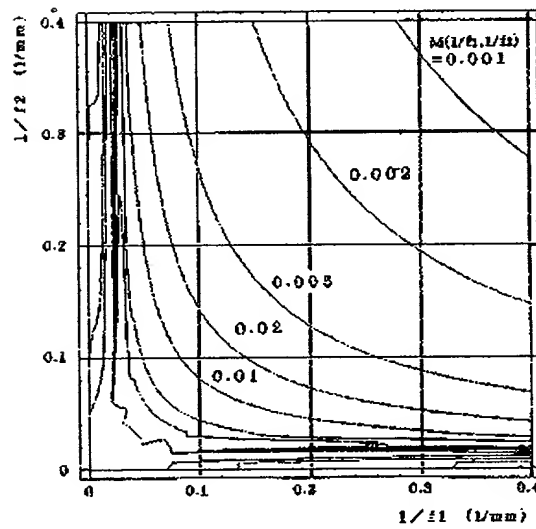
(7)

特開平8-138600

【図6】



【図7】





(8)

特開平8-138600

【図8】

